

# A solution for the binary system V1373 Orionis

Norbert Hauck

**Abstract:** *Binary system V1373 Ori (HD 36107) has been investigated in the photometric passbands Vlc and by spectroscopy (radial velocities). Modelling of the data delivered a single and consistent solution for a detached configuration consisting of a large K-type giant primary component having a radius of  $39.40 \pm 0.43 R_{\text{sun}}$  and a mass of  $1.132 \pm 0.043 M_{\text{sun}}$ , and an invisible dwarf secondary component having a mass of  $0.661 \pm 0.025 M_{\text{sun}}$ . The red giant fits into a stellar model for a moderately sub-solar metallicity of  $Z = 0.008$ . [English and German online-version available under [www.bav-astro.eu/rb/rb2016-2/4.html](http://www.bav-astro.eu/rb/rb2016-2/4.html)].*

By combining photometric data of V1373 Ori (HD 36107) from Hipparcos and ASAS-3 Otero and Wils, 2005, [1], derived an orbital period of 122.68 days, and classified the system as an eclipsing binary. From Houk and Swift, 1999, [2], we have spectral type K4/5 III. McDonald et al., 2012, [3], derived an effective temperature  $T_{\text{eff}}$  of 3944 K from the spectral energy distribution (SED) and model atmospheres, which should fit to the primary giant component. Therefore, this  $T_{\text{eff}}$  has been used in our solution. According to our model, the light contribution of the faint secondary component can be neglected in this regard. From Hipparcos data we get a distance of 649 (372-2564) pc.

Radial velocities (RV) of the giant component of V1373 Ori have been measured photoelectrically with the *Coravel* instrument at the 36-inch telescope of the Cambridge Observatories, UK (see Table 1). The southern declination of the stellar object still allowed its observation, however, for instrumental reasons, with a somewhat increased standard deviation  $\sigma_{\text{FIT}}$  of 0.40 km/s to the RV curve computed with the *Binary Maker 3* (BM 3) modelling program (see Fig. 1). Moreover, the spectral lines are broadened by stellar rotation, with a measured equatorial  $v_{\text{sin } i}$  of  $15.3 \pm 0.4$  km/s. For our almost circularized binary system we can expect tidal forces to have already more or less synchronized the rotational and orbital periods (see e.g. chapter 4.2.4 of Hilditch, 2001, [4]). Therefore, a first estimation for the radius of the giant was possible and resulted in  $37.2 \pm 1.0 R_{\text{sun}}$  for an orbital inclination  $i$  of about  $90^\circ$ . If we could rule out systematic errors in these measurements, the red giant might indeed rotate with a slightly sub-synchronous velocity, i.e. with about 90% of its 'pseudo-synchronous' speed. Anyway, it has been checked with the BM 3 program that this would not deteriorate our solution.

A folded light curve for V1373 Ori in passband V has been generated from 29 data points being carefully selected from a set of 402 taken from the ASAS-3 database. With help of the BM 3 program a computed light curve using the same parameter set as in the RV solution has been fitted thereto (see Fig. 2). The standard deviation has been minimized to a  $\sigma_{\text{FIT}}$  of 2.5 and 10 mmag for the smaller and larger dataset, respectively. The shape of the light curve is caused by the 'ellipsoidal variation' of the distorted giant primary component. Both eclipses (total and annular) are invisible in the existing data, since the secondary component, likely a K-type dwarf, is too faint. Although the shape of the light curve could also be modelled by either a double giant or an over-contact configuration, we have ruled out having two stars of similar size and

brightness, since no secondary ‘dips’ have been observed in the radial-velocity traces, not even near the orbital nodes.

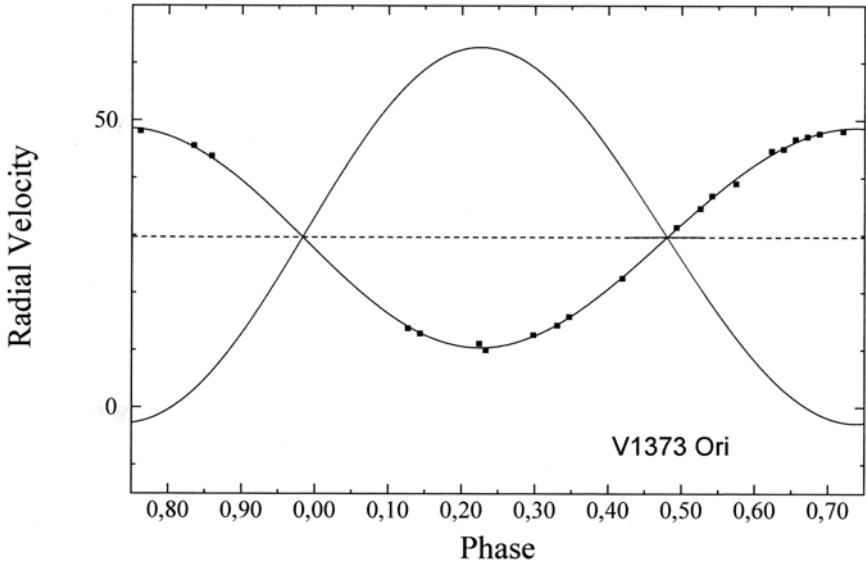
Additionally, new photometric data in passband Ic have been collected with an internet-controlled 0.5m-CDK-telescope in Siding Spring, Australia. For reducing scintillation effects these data have been averaged from 8 CCD images each. As comparative star HD 36047 in 13’ angular distance has been used. The computed light curve solution has achieved a standard deviation  $\sigma_{FIT}$  of 6 mmag against a set of 36 Ic-data points for the unchanged set of parameters. Hence these Ic-data are in line with our joint photometric-spectroscopic final solution being presented in tables 2 and 3.

A small mean eccentricity  $e$  of 0.022 (0.019 and 0.025 in the first light curve and RV solution, respectively) has been discovered during the modelling. This feature of the orbit appears robust, since thereby the sum of residuals squared has been reduced significantly, i.e. by about 40% in both the photometric and spectroscopic solution.

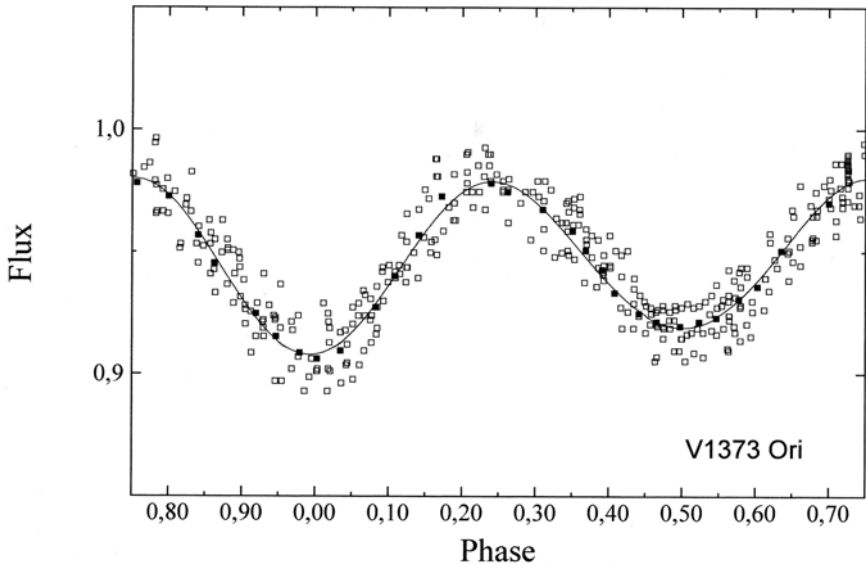
The large red giant is fitting with its parameters at an accuracy of 1% into a stellar model from the Geneva group of Schaefer et al., 1992, [5]. A somewhat sub-solar metallicity of  $Z = 0.008$  had to be selected, which appears more or less normal for such an old stellar object having an age of about 6.2 billion years. Our giant being located on the Red Giant Branch (RGB) has already evolved to a fill-out grade of 81% w.r.t. the inner critical Roche-surface potential. According to the stellar model we can expect in about 5 million years the beginning of mass-transfer after the formation of a semi-detached binary configuration of unusually large dimensions.

**Table 1:** MJD / radial velocity [km/s] / residual (O – C) [km/s] of the red giant

57005.04	+12.6	+0.2	57048.90	+46.7	+0.4	57354.09	+12.9	–0.1
57011.01	+15.8	+0.1	57050.87	+47.2	+0.1	57364.00	+11.1	+0.7
57028.96	+31.4	+0.3	57052.93	+47.7	–0.1	57365.09	+10.0	–0.4
57032.96	+34.7	–0.1	57056.86	+48.1	–0.4	57377.05	+14.3	–0.1
57038.95	+39.0	–0.9	57061.90	+48.1	–0.4	57387.97	+22.5	–0.2
57044.93	+44.7	+0.6	57070.86	+45.6	+0.3	57402.95	+36.9	+0.4
57046.91	+45.0	–0.3	57352.06	+13.8	–0.4	57441.88	+43.8	+0.3



**Fig. 1:** Radial velocities [km/s] of the giant (filled squares) and dwarf component



**Fig. 2:** Computed light curve for selected 29/402 ASAS-3 data (filled/hollow squares)

**Table 2: Parameters of the binary system V1373 Ori**

Epoch [HJD]	2457091.46(25)	mid primary min., improved with new data
Period P [days]	122.68(2)	from [1], confirmed; true P ~ 122.668 d
Total light [V/Bmag]	8.72 / 10.29	mean values; from Simbad
Maximum light [Vmag]	8.68	from ASAS
Primary minimum [Vmag]	8.76	in phase = 0
Secondary min. [Vmag]	8.75	in phase 0.507
Periastron longitude $\omega$	293 $\pm$ 14	[deg]; Periastron in phase 0.564 $\pm$ 0.038
Eccentricity e	0.022 $\pm$ 0.006	
RV barycenter $\gamma$ [km/s]	29.69 $\pm$ 0.12	(RV = radial velocity)
RV primary star [km/s]	19.14 $\pm$ 0.16	semi-amplitude K1
Orbital inclination i [deg]	85.6 + 4.4/-3.2	
Semi-major axis a [AU]	0.587 $\pm$ 0.007	= 87.8 $\pm$ 1.1 Gm = 126.1 $\pm$ 1.6 R <sub>o</sub>
Mass ratio q (M <sub>2</sub> /M <sub>1</sub> )	0.584 $\pm$ 0.010	photometric q
Distance [pc]	613 $\pm$ 40	calculated for A <sub>v</sub> = 0.157 mag
Age [Gyr]	6.2	from stellar model [5] for Z = 0.008

**Table 3: Parameters of components of V1373 Ori**

Parameter	Primary star	Secondary star
Spectral type	K4/5 III	(K V) ?
Temperature T <sub>eff</sub> [K]	3940 $\pm$ 120	?
Radius R (mean, vol) [R <sub>o</sub> ]	39.40 $\pm$ 0.43	?
Luminosity (bol.) [L <sub>o</sub> ]	337 $\pm$ 43	?
Brightness [VMag]	- 0.376	?
Light fraction [V-Flux %]	$\geq$ 99.8	$\leq$ 0.2
Mass [M <sub>o</sub> ]	1.132 $\pm$ 0.043	0.661 $\pm$ 0.025

**References:**

- [1] S.A. Otero and P. Wils, IBVS **5630**, (2005); [www.konkoly.hu/IBVS/issues.html](http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html)  
[2] N. Houk and C. Swift, Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 5, Univ. of Michigan, (1999)  
[3] I. McDonald, A.A. Zijlstra and M.L. Boyer, MNRAS **427**, 343, (2012)  
[4] R.W. Hilditch, An introduction to close binary stars, Cambridge Univ. Press, (2001)  
[5] D. Schaerer et al., A&AS **98**, 523, (1992)

**Acknowledgements:** I am grateful for the essential assistance of Dr. R.F. Griffin, University of Cambridge, UK, who has kindly supplied the radial-velocity measurements of V1373 Ori. This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomiques de Strasbourg, France, <http://cdsarc.u-strasbg.fr/> and the database of All Sky Automated Survey ASAS, <http://www.astrouw.edu.pl/stras/>.

# Eine Lösung für den Doppelstern V1373 Orionis

## A solution for the binary system V1373 Orionis

Norbert Hauck

**Abstract:** *Binary system V1373 Ori (HD 36107) has been investigated in the photometric passbands Vlc and by spectroscopy (radial velocities). Modelling of the data delivered a single and consistent solution for a detached configuration consisting of a large K-type giant primary component having a radius of  $39.40 \pm 0.43 R_{\text{sun}}$  and a mass of  $1.132 \pm 0.043 M_{\text{sun}}$ , and an invisible dwarf secondary component having a mass of  $0.661 \pm 0.025 M_{\text{sun}}$ . The red giant fits into a stellar model for a moderately sub-solar metallicity of  $Z = 0.008$ . [English and German online-version available under [www.bav-astro.eu/rb/rb2016-2/4.html](http://www.bav-astro.eu/rb/rb2016-2/4.html)].*

Per Kombination photometrischer Daten von Hipparcos und ASAS-3 von V1373 Ori (HD 36107) haben Otero und Wils, 2005, [1], eine Bahnperiode von 122.68 Tagen ermittelt, und das Objekt als Bedeckungsveränderlichen klassifiziert. Houk und Swift, 1999, [2], geben K4/5 III als Spektraltyp an. McDonald et al., 2012, [3], haben aus der spektralen Energieverteilung (SED) und Modellatmosphären eine effektive Temperatur  $T_{\text{eff}}$  von 3944 K abgeleitet, die zum Primärstern (Riesen) passen sollte. Diese  $T_{\text{eff}}$  wurde daher in unserer Lösung verwendet. Der Lichtanteil des schwachen Sekundärsterns kann gemäss unserem Modell vernachlässigt werden. Die aus Hipparcosdaten ermittelte Entfernung beträgt 649 (372-2564) pc.

Mit dem *Coravel* –Gerät wurden am 36-Zoll-Teleskop der Cambridge-Observatorien, UK, photoelektrisch Radialgeschwindigkeiten (RV) des Riesensterns von V1373 Ori gemessen (s. Tabelle 1). Die südliche Deklination des Objektes führte aus instrumentellen Gründen zu einer etwas höheren Standardabweichung  $\sigma_{\text{FIT}}$  von 0.40 km/s zur mit dem *Binary Maker 3* (BM 3) - Modellierungsprogramm berechneten RV-Kurve (s. Abb. 1). Die Spektrallinien sind zudem durch die Rotation des Sterns verbreitert, mit einer gemessenen  $v \sin i$  von  $15.3 \pm 0.4$  km/s. Für unser nahezu zirkularisiertes System können wir eine weitgehend zur Bahnperiode synchrone Rotation erwarten (s. z.B. Kapitel 4.2.4 bei Hilditch, 2001, [4]). Daher war eine erste Schätzung des Radius des Riesen möglich:  $37.2 \pm 1.1 R_{\odot}$  für eine Bahnneigung  $i \sim 90^{\circ}$ . Bei Ausschluss systematischer Fehler könnte der rote Riese in der Tat mit etwas untersynchroner Geschwindigkeit rotieren, d.h. mit etwa 90% des *pseudosynchronen* Wertes. Wie auch immer, dies würde laut Test im BM3 unsere Lösung nicht negativ beeinflussen.

Aus 29 sorgfältig von 402 Datenpunkten ausgewählten ASAS-3-Daten wurde eine gefaltete Lichtkurve im V-Band erzeugt. Unter Verwendung derselben Parameter wie in der RV-Lösung wurde eine mit dem BM3 berechnete Lichtkurve daran angepasst (s. Abb. 2). Die minimierte Standardabweichung  $\sigma_{\text{FIT}}$  beträgt 2.5 mmag für den kleinen und 10 mmag für den grossen Datensatz. Die Form der Lichtkurve wird vom *ellipsoidal* verzerrten Riesen verursacht. Beide Bedeckungen (total und ringförmig) sind in den existierenden Daten unsichtbar, da der Sekundärstern (vermutlich ein K-Zwerg) zu lichtschwach ist. Obwohl die Lichtkurvenform auch sowohl mit einer Doppelriesen- als auch einer Überkontaktkonfiguration modelliert werden kann, haben wir zwei Sterne

ähnlicher Helligkeit und Grösse ausgeschlossen, da nicht einmal nahe der Bahnknoten sekundäre Vertiefungen in den Radialgeschwindigkeitslinien beobachtet wurden.

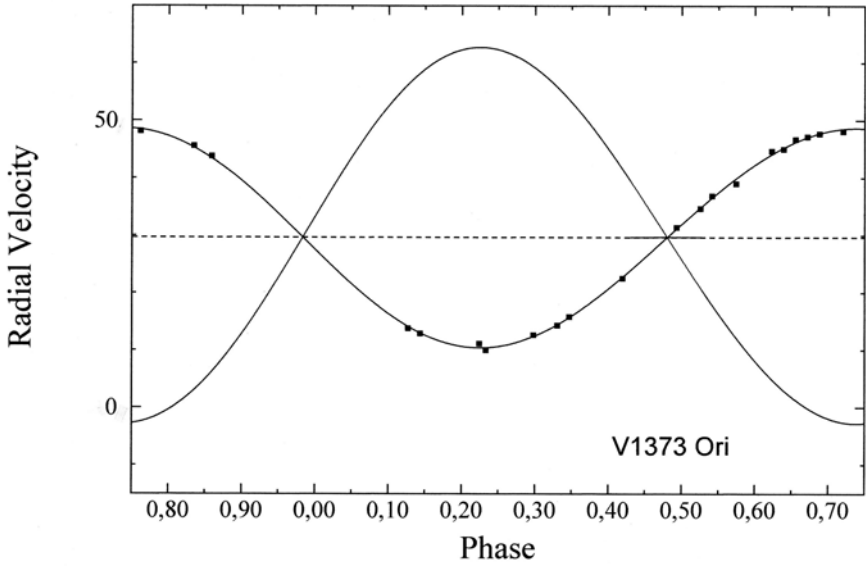
Zusätzlich wurden mit einem per Internet gesteuerten 0.5m-CDK-Teleskop in Siding Spring, Australien, neue photometrische Daten im Ic-Band gewonnen. Zur Reduzierung von Szintillationseffekten wurden die Daten von je 8 CCD-Bildern gemittelt. Vergleichssterne war HD 36047 in 13' Winkeldistanz. Die berechnete Lichtkurve erreichte mit dem unveränderten Parametersatz eine Standardabweichung  $\sigma_{FIT}$  von 6 mmag zu den 36 Ic-Datenpunkten. Somit passen auch die Ic-Daten zu unserer vereinigten photometrisch-spektroskopischen Lösung (s. Tabellen 2 und 3).

Bei der Modellierung wurde eine kleine mittlere Bahnexzentrizität  $e$  von 0.022 (0.019 in der Lichtkurven- und 0.025 in der RV-Lösung) entdeckt. Dieses Merkmal erscheint gesichert, da dadurch die Summe der quadrierten Abweichungen signifikant (um etwa 40%) in der photometrischen sowie der spektroskopischen Lösung verringert wurde.

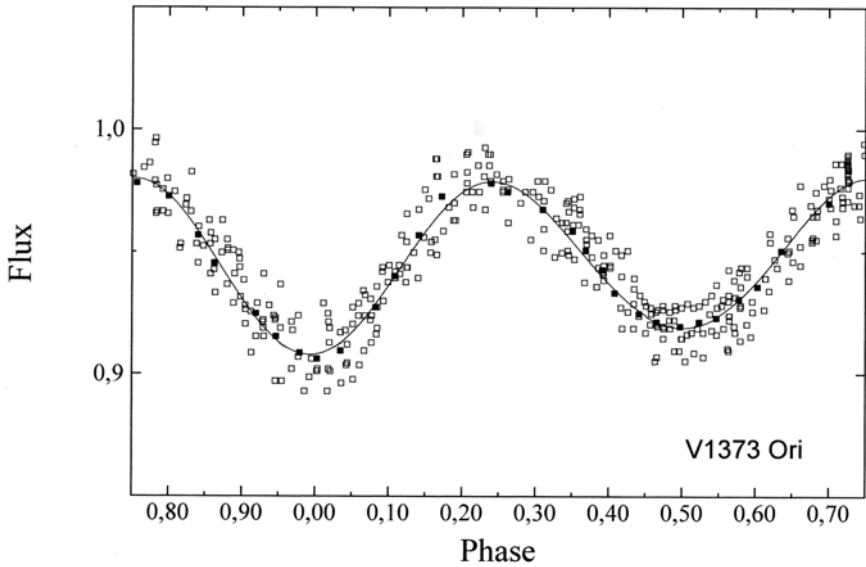
Der grosse rote Riese passt mit seinen Parametern mit 1%iger Genauigkeit in ein Sternmodell der Genfer Gruppe von Schaerer et al., 1992, [5]. Die erforderliche etwas untersolare Metallizität von  $Z = 0.008$  scheint für ein so altes stellares Objekt (etwa 6.2 Milliarden Jahre) mehr oder weniger normal. Unser auf dem roten Riesenast (RGB) befindliche Riese hat sich bereits bis zu einem Ausfüllgrad von 81% des inneren kritischen Roche-Oberflächenpotentials entwickelt. Dem Sternmodell zufolge können wir in etwa 5 Millionen Jahren nach der Bildung einer halbgetrennten Konfiguration ungewöhnlich grosser Dimensionen den Beginn des Massetransfers erwarten.

**Tabelle 1:** MJD / Radialgeschw. [km/s] / Abweichung (B – R) [km/s] des roten Riesen

57005.04	+12.6	+0.2	57048.90	+46.7	+0.4	57354.09	+12.9	-0.1
57011.01	+15.8	+0.1	57050.87	+47.2	+0.1	57364.00	+11.1	+0.7
57028.96	+31.4	+0.3	57052.93	+47.7	-0.1	57365.09	+10.0	-0.4
57032.96	+34.7	-0.1	57056.86	+48.1	-0.4	57377.05	+14.3	-0.1
57038.95	+39.0	-0.9	57061.90	+48.1	-0.4	57387.97	+22.5	-0.2
57044.93	+44.7	+0.6	57070.86	+45.6	+0.3	57402.95	+36.9	+0.4
57046.91	+45.0	-0.3	57352.06	+13.8	-0.4	57441.88	+43.8	+0.3



**Abb. 1:** Radialgeschw. [km/s] des Riesen (gefüllte Quadrate) u. der Zwergkomponente



**Abb. 2:** Berechnete Lichtkurve für 29/402 ASAS-3 Daten (gefüllte/hohle Quadrate)

**Tabelle 2: Parameter des Doppelsternsystems V1373 Ori**

Epoche [HJD]	2457091.46(25)	Mitte Hauptmin., verbessert (neue Daten)
Periode P [Tage]	122.68(2)	von [1], bestätigt; wahre P ~ 122.668
Gesamtlcht [V/Bmag]	8.72 / 10.29	Mittelwerte; von Simbad
Maximallicht [Vmag]	8.68	von ASAS
Hauptminimum [Vmag]	8.76	in Phase = 0
Nebenminimum [Vmag]	8.75	in Phase 0.507
Periastron-Länge $\omega$	293 $\pm$ 14	[Grad]; Periastron in Phase 0.564 $\pm$ 0.038
Exzentrizität e	0.022 $\pm$ 0.006	
RV Baryzentrum $\gamma$ [km/s]	29.69 $\pm$ 0.12	(RV = Radialgeschwindigkeit)
RV Primärstern [km/s]	19.14 $\pm$ 0.16	Halbamplitude K1
Bahnneigung i [deg]	85.6 + 4.4/-3.2	
Grosse Halbachse a [AU]	0.587 $\pm$ 0.007	= 87.8 $\pm$ 1.1 Gm = 126.1 $\pm$ 1.6 R <sub>o</sub>
Massenverhältnis q	0.584 $\pm$ 0.010	photometrisches q (M <sub>2</sub> /M <sub>1</sub> )
Entfernung [pc]	613 $\pm$ 40	berechnet für A <sub>v</sub> = 0.157 mag
Alter [Gyr]	6.2	laut Sternmodell [5] für Z = 0.008

**Tabelle 3: Parameter der Komponenten von V1373 Ori**

Parameter	Primärstern	Sekundärstern
Spektraltyp	K4/5 III	(K V) ?
Temperatur T <sub>eff</sub> [K]	3940 $\pm$ 120	?
Radius R (Mittel, vol) [R <sub>o</sub> ]	39.40 $\pm$ 0.43	?
Leuchtkraft (bol.) [L <sub>o</sub> ]	337 $\pm$ 43	?
Helligkeit [VMag]	- 0.376	?
Lichtanteil [V-Fluss %]	$\geq$ 99.8	$\leq$ 0.2
Masse [M <sub>o</sub> ]	1.132 $\pm$ 0.043	0.661 $\pm$ 0.025

**Quellen:**

- [1] S.A. Otero and P. Wils, IBVS **5630**, (2005); [www.konkoly.hu/IBVS/issues.html](http://www.konkoly.hu/IBVS/issues.html)  
[2] N. Houk and C. Swift, Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars, Vol. 5, Univ. of Michigan, (1999)  
[3] I. McDonald, A.A. Zijlstra and M.L. Boyer, MNRAS **427**, 343, (2012)  
[4] R.W. Hilditch, An introduction to close binary stars, Cambridge Univ. Press, (2001)  
[5] D. Schaerer et al., A&AS **98**, 523, (1992)

**Danksagungen:** Ich bin dankbar für die essentielle Unterstützung von Dr. R.F. Griffin, Universität Cambridge, UK, der freundlicherweise die Radialgeschwindigkeitsmessresultate von V1373 Ori zur Verfügung gestellt hat. This research has made use of the Simbad and VizieR databases operated at the Centre de Données astronomiques de Strasbourg, France, <http://cdsarc.u-strasbg.fr/> and the database of All Sky Automated Survey ASAS, <http://www.astrouw.edu.pl/asas/>.